

# 有害なひび割れの進展抑制によるコンクリート構造物の長寿命化に関する基礎的研究

著者	西脇 智哉
号	3454
発行年	2004
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8726">http://hdl.handle.net/10097/8726</a>

氏名	にしわき　ともや		
授与学位	西脇　智　哉		
学位授与年月日	博士(工学)		
学位授与の根拠法規	平成17年3月25日		
研究科、専攻の名称	学位規則第4条第1項		
学位論文題目	有害なひび割れの進展抑制によるコンクリート構造物の長寿命化に関する基礎的研究		
指導教員	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 都市・建築学専攻		
論文審査委員	主査	東北大学教授 三橋 博三	東北大学教授 杉村 義広
		東北大学教授 井上 範夫	東北大学助教授 金子 佳生

## 論文内容要旨

### 1. 序論

我が国は現段階において既にコンクリート構造物の莫大なストックを抱え、ストック重視の社会的要請はますます高まる一方である。しかし、非常に深刻なレベルに至るまでコンクリートの劣化が進展している場合には、大規模な補修が技術的にも経済的にも困難になる場合がある。コンクリート構造物を耐久的にするためには、日常的な点検も含めた計画的な維持保全計画が重要であり、そのためにもひび割れが発生してしまってから補修を行う事後対策よりも、ひび割れの進展抑制を計画する事前対策が大きな効果を得ることができるものと考えられる。その手法として、本論文ではひび割れの分散によるひび割れ幅の拡大抑制と、コンクリート自身が補修機能を内包することで、補修という事後対策を事前対策とすることができる、自己修復機能付与の2点を提案する。これらの手法による、コンクリート構造物の長寿命化の概念を図-1に示す。ここで提案するそれぞれの手法が有効に機能することを、実験や解析を通して確認することを本研究の目的とする。

### 2. 有害なひび割れとひび割れ制御に関する既往の研究

第2章では、有害なひび割れとひび割れ制御に関する既往の研究について、本研究に特に関連が深いものを中心に概観した。コンクリート構造物に対するひび割れ検査は、必要に応じて簡易な日常点検から、劣化程度の進展に伴って段階的により詳細な検査が実施される。特に劣化の程度が激しい場合など、最終的には破壊検査も含めた大規模な作業が必要となるため、劣化をより軽微な段階で発見し、適切な処置を行うことが技術的な面からも経済的な面からも望ましい。このひび割れを定量的に評価する手法としては、ひび割れ形状の

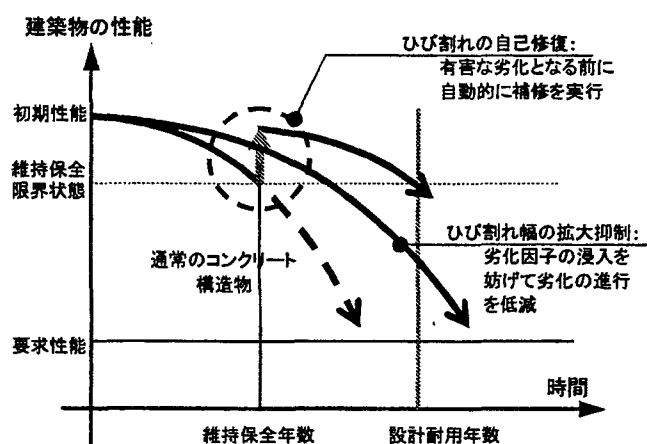


図-1 提案手法によるコンクリート構造物の長寿命化

定量評価を行うためのフラクタル次元なども含めて多様なものがあるが、多くの基規準類では補修やより高次の検査の要否判定として行われる劣化度判定には、ひび割れ幅が採用されている。特に鉄筋の錆を含めた、コンクリート構造物の劣化が進展するには水の存在が不可欠であるが、ひび割れ幅が大きい場合には、このひび割れを介して水がコンクリート内部へと容易に供給される。この時に浸入する水の量は、ひび割れ幅によって支配的な影響を受ける。これらの既往の研究から、ひび割れ幅の拡大抑制と、このことによる遮水性能の低下を抑制することが耐久性の向上に有効であると考えられる。

### 3. ひび割れ制御による長寿命化

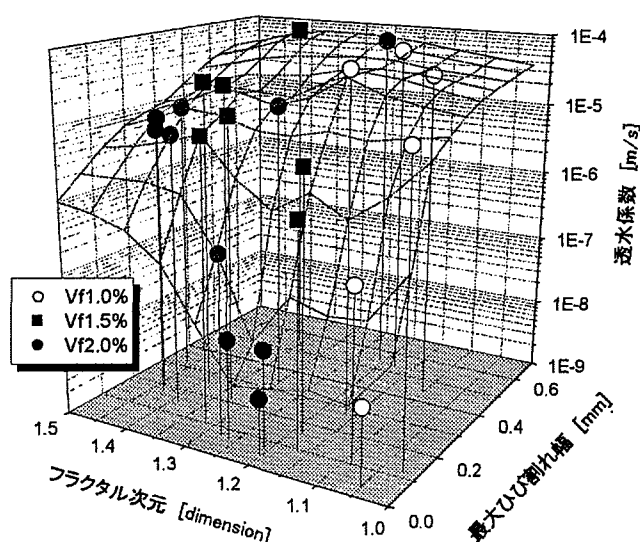
第3章では、既往の研究成果を踏まえ、ひび割れの進展抑制を通してコンクリート構造物の長寿命化を図るために、本研究で提案する2つの手法について述べた。一つはひび割れの発生を分散させることによる、個々のひび割れ幅の進展抑制である。このことを目的として、優れたひび割れ抵抗性能が確認されている HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite)を使用することを提案した。もう一つの手法としては、ひび割れが発生してしまった場合にも、煩雑な検査や点検を必要とせず、このひび割れが有害なものに進展してしまう前に、自動的に補修を実行することが可能となる、自己修復機能のコンクリートへの付与を提案した。この機能を実現するために、ひび割れの発生と共に補修剤がひび割れを充填するパッシブな自己修復手法と、より確実な自己修復を可能とするために、ひび割れ発生箇所への選択的な加熱を行う、アクティブな自己修復手法の2つが考えられることを示した。このような自己修復機能は、発生してしまったひび割れに対して、従来は事後対策として行われていた補修作業が、事前対策としてコンクリートという材料自体に付与されることであり得ると思われる。

ここで提案した手法は、ひび割れの分散についても自己修復機能についても、材料自身の持つ機能によって発生してしまったひび割れを制御するという面で共通しており、ひび割れの発生下においても遮水性能を維持することによって、それ以降の劣化の進展を抑制することを目的としている。また、これらの手法による遮水性能維持の効果を定量的に確認するために、本来は多孔体を透過する粘性流体についての記述であるダルシーの法則から得られる透水係数を用いて、ひび割れの発生したコンクリートの遮水性能を評価することを提案した。

### 4. ひび割れの分散による有害なひび割れの進展抑止

第4章では、HPFRCC を用いることによって得られるひび割れの分散により、ひび割れ幅拡大の抑制と、それに伴う遮水性能の維持が可能であることを実験により確認した。まず初めに、引張載荷試験によって発生するひび割れが分散することを、またこの分散に伴って個々のひび割れ幅の拡大抑制が可能であることを確認した。このひび割れが発生している供試体に対して透水試験を実施した結果、特に最大ひび割れ幅と透水係数には有意な関係が見られ、個々のひび割れ幅の拡大を制御することが、ひび割れ発生下においても、遮水性能の維持に有効であることを確認した。

また、同程度のひび割れ幅を有する数多くのひび割れが、複雑な形状を伴って発生している場合は、最大



図ー2 フラクタル次元および最大ひび割れ幅と透水係数の関係

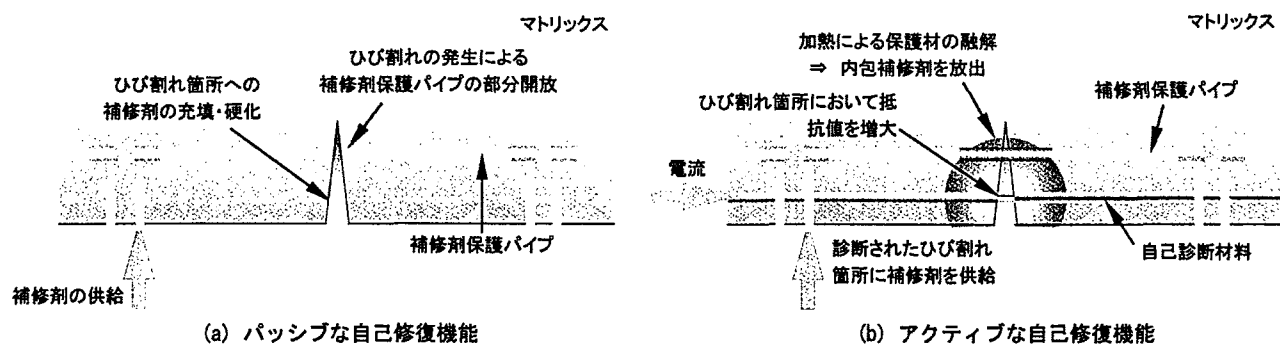
ひび割れ幅のみでは、ひび割れの状態を表すパラメータとしては十分ではないことが考えられる。そのため、このようなひび割れの発生している供試体表面に対してフラクタル解析をはじめとする画像解析を行い、ひび割れの形状を含めた定量評価を行うことによって、より詳細なひび割れ情報とした。得られたひび割れ形状に関するパラメータを、最大ひび割れ幅と併せてひび割れ情報とし、遮水性能の評価を行った結果、透水係数とひび割れ情報の関係について、図一2に示すように、より詳細に記述することが可能であることを明らかにした。

## 5. 自己修復機能による有害なひび割れの補修と進展抑止

第5章では、コンクリートに対して自己修復機能を付与することにより、発生してしまったひび割れを迅速に補修することで、ひび割れを有害なものとししない手段が有効であることを確認した。このための手法として、パッシブな自己修復機能と、アクティブな自己修復機能の2つを提案した。さらにこれらの機能を満たすための各要素についての検討を行うと共に、それらの組み合わせにより実際に自己修復機能が想定通りに働くことを実験により確認した。それぞれの手法についての概念図を図一3に示す。

パッシブな自己修復機能とは、図一3(a)に示されるように、適切な保護材を用いてコンクリート中に補修剤を未反応のまま予め内包させておき、ひび割れの発生に応じてこの補修剤をひび割れ中に放出する手法である。ひび割れの発生により保護材が破損することで、内部に封入されていた補修剤がひび割れ中に放出される。この補修剤がひび割れを充填し、コンクリートや空気と接することで硬化して補修を実行する。このシステムの実現のために、補修剤として珪酸アルカリを主成分とする水ガラス系補修剤を、補修剤保護パイプとして変形能の小さい材質の管状のものを使用する。これらを組み合わせて実際に供試体を作製し、引張載荷試験を行って任意のひび割れを発生させた上で、自己修復機能によってこれらのひび割れの補修が可能であることを確認した。その結果、ひび割れの発生に伴って補修剤保護パイプが破壊し、内包されていた補修剤のひび割れ箇所への放出が全ての供試体について確認された。また、この手法によって自己修復した供試体に対して透水試験を行った結果、図一4に示すように、特にマトリックス部分に HPFRCC を用いた供試体について、最大ひび割れ幅が 0.2mm 以上に大きく進展した場合に、自己修復機能は有効に働き、透水係数を低減させることが実験により確認された。

もう一つの提案手法であるアクティブな自己修復機能とは、図一3(b)に示すように、パッシブな自己修復機能を更に進めた形として外部からの入力によって機能を発揮するデバイスを併設し、より確実な自己修復を狙うものである。このために、補修剤保護パイプと封入補修剤に加えて、ひび割れの発生箇所に対して選択的に加熱を行うことのできる発熱デバイスとして、ひび割れ発生の自己診断材料をコンクリート中に埋設する。マトリックスにひび割れが発生し、この自己診断材料に対して局所的なひずみが発生した場合、このひずみ発生部分で局所的な電気抵抗の上昇が生じる。このような状態の自己診断材料に対して通電を行うことで、ひび割れ発生箇所を選択的な加熱を行うこと



図一3 自己修復機能付与の手法

が可能となる。補修剤保護パイプに適切な融点を持つ材料を使用すれば、この発熱を利用することによって、補修剤保護パイプをひび割れ箇所を選択的に融解させ、内包する補修剤をひび割れ中に放出することができる。

このようなアクティブな自己修復機能が有効に働くように、3次元熱伝導解析によって補修剤保護パイプと自己診断材料の配置を検討すると共に、実際に供試体を作製して実験を行い、その有効性を確認した。その結果、モルタルに埋設された自己診断材料が、ひび割れの発生を検知してその部分での電気抵抗値を局所的に上昇させること、その自己診断材料に通電を行うことによりひび割れ箇所を選択的に発熱し、補修剤を内包する保護パイプを融解させ、ひび割れ中に補修剤を放出させること、さらにこの発熱を利用してひび割れ中にある補修剤を硬化させることの、一連の自己修復機能の構成要素が有効に働くことが確認された。更にこの手法によって自己修復した供試体に対して透水試験を行い、ひび割れの発生に伴う遮水性能の低下が抑制されることを確認した。

## 6. 結論

第6章は結論である。即ち本論文では、コンクリート構造物の長寿命化を目的として、ひび割れの進展抑制の手法を提案し、それぞれについて実験を通して有効性を確認した。コンクリートに発生するひび割れは、劣化そのものである一方で、水などを媒介として浸入する劣化因子の入り口となることにより、さらなる劣化の原因となる。この水の浸入に着目し、繊維補強セメント系複合材料である HPFRCC の特徴を生かしたひび割れの分散によるひび割れ幅の拡大抑制と、ひび割れに対して自己修復機能を付与するための2つの手法を提案した。これらそれぞれについて実験的検討を行い、それぞれの手法を施した供試体の透水試験の結果、提案するいずれの手法を用いた場合も、ひび割れ発生下において遮水性能の低下を抑制することが可能であることを確認した。このことから、水の遮断による劣化の進展抑止や、それに伴う構造物長寿命化の実現に対して、本論文で提案する手法は有効であるものと考えられる。

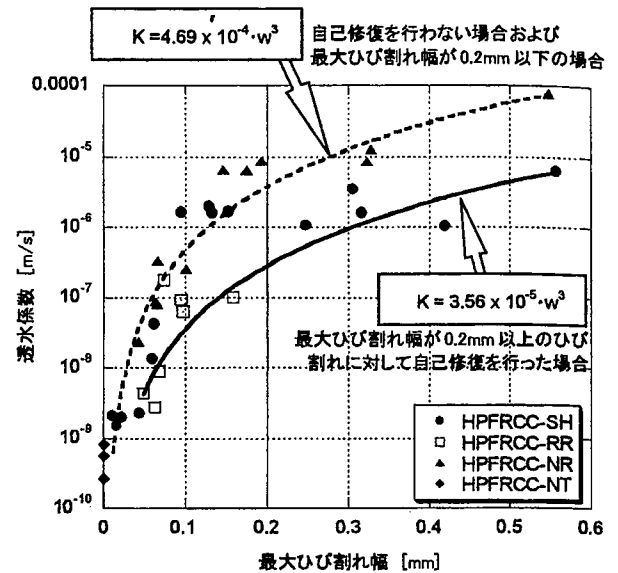


図-4 パッシブな自己修復を施した場合の最大ひび割れ幅と透水係数の関係

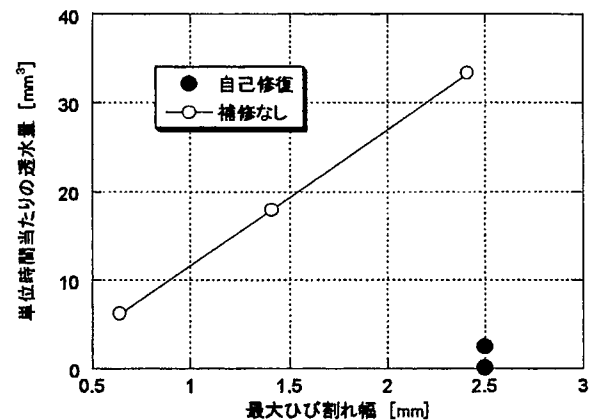


図-5 アクティブな自己修復を施した場合の最大ひび割れ幅と単位時間当たりの透水量の関係

# 論文審査結果の要旨

本研究は、地球環境への負荷を低減しストック重視の社会的要請に応えるために、コンクリート構造物の長寿命化を実現する方法として有害なひび割れ進展を抑制できる新たな手法を提案し、実験によってそれらの手法の有効性を確認したもので、全編6章よりなっている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、有害なひび割れとひび割れ制御に関する既往の研究について、本研究に特に関連の深いものを中心に概観し、研究課題を明確化している。

第3章では、既往の研究成果を踏まえ、ひび割れの進展抑制を通してコンクリート構造物の長寿命化を図るために本研究で提案する2つの手法について提案した。一つはひび割れの発生を分散させることによる、個々のひび割れ幅の進展抑制法である。もう一つは、ひび割れが発生してしまった場合にも、煩雑な検査や点検を必要とせず、このひび割れが有害なものに進展してしまう前に、自動的に補修を実行することが可能となる、自己修復機能の提案である。

第4章では、ひび割れの分散により、ひび割れ幅の拡大の抑制とそれに伴う遮水性能の維持が可能であることを実験により確認している。

第5章では、コンクリートに対してパッシブあるいはアクティブな自己修復機能を付与することにより、発生してしまったひび割れを迅速に補修することで、ひび割れを有害なものとしらない手段が有効であることを実験により確認している。パッシブな自己修復機能とは、適切な保護材に内包された補修剤をひび割れの発生に応じて放出する手法である。一方のアクティブな自己補修機能とは、補修剤を内包した補修剤保護パイプに加えてコンクリート中に埋設したひび割れ検知デバイスに通電することにより、ひび割れ部分を中心に加熱し、補修剤保護パイプが融解して補修剤が放出されると共に硬化が促進されるものである。

第6章は結論である。

以上、要するに本論文は、コンクリート構造物の長寿命化を目的として、新しいひび割れの進展抑制手法を提案し、各々の手法の有効性を実験により確認したもので、建築学の進展に寄与するものである。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。